



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ **Offenl gungsschrift**
①⑩ **DE 44 10 508 A 1**

⑤① Int. Cl.⁵:
A 61 M 16/01
G 06 F 15/42

②① Aktenzeichen: P 44 10 508.8
②② Anmeldetag: 25. 3. 94
②③ Offenlegungstag: 29. 9. 94

DE 44 10 508 A 1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①
26.03.93 FI 931348

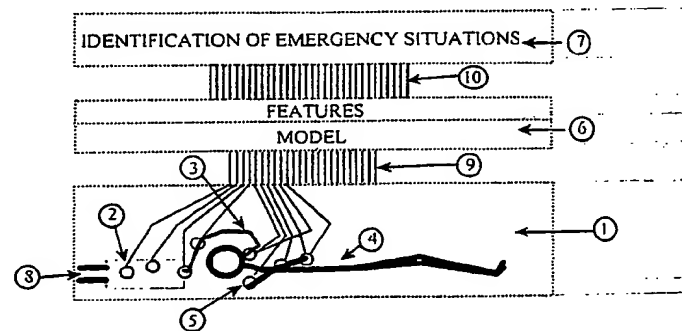
⑦① Anmelder:
Instrumentarium Oy, Helsinki, FI

⑦④ Vertreter:
Zipse, E., Dipl.-Phys., 76530 Baden-Baden;
Habersack, H., Dipl.-Ing.; Wahl, H., Dipl.-Ing.Univ.
Dr.-Ing., Pat.-Anwälte, 80639 München

⑦② Erfinder:
Vapola, Mauri, Espoo, FI; Meriläinen, Pekka,
Helsinki, FI

⑤④ Verfahren zum Erkennen und Identifizieren von Notfallsituationen in einem Anästhesie-System mittels selbstorganisierender Karte

⑤⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen und Identifizieren von Notfallsituationen in einem Anästhesiesystem. Hierbei werden mehrere Variablen, die mit der Anästhesie verknüpft sind, gemessen und aus den gemessenen Werten dieser Meßvariablen werden Mustervektoren gebildet, die den augenblicklichen Status des Systems charakterisieren. Vor einer tatsächlichen Meßsituation wird das System mit Schulungsmaterial geschult, das Mustervektoren enthält, die tatsächlichen Situationen entsprechen. Auf der Basis der gemessenen Mustervektoren und des geschulten Materials werden die Notfallsituationen erkannt und möglicherweise identifiziert. Erfindungsgemäß wird das System durch das Referenzmaterial unter Verwendung selbstorganisierender Karten geschult und die Mustervektoren, die aus den Meßergebnissen gebildet worden sind, werden mit Gewichtsvektoren (m_i) der selbstorganisierenden Karte verglichen, um Notfallsituationen zu erkennen und zu identifizieren.



DE 44 10 508 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 94 408 039/713

19/33

Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zum Erkennen und Identifizieren von Notfallsituationen in der Anästhesie.

Entsprechend betrifft die in vorliegender Patentanmeldung beschriebene Erfindung ein Verfahren zur Erhöhung der Patientensicherheit durch Identifizierung von Notfallsituationen des Anästhesiesystems, bevor eine reale Unfallsituation vorliegt. Mit Hilfe des Verfahrens kann das Vorliegen einer Notfallsituation und die Ursache einer derartigen Notfallsituation zum frühestmöglichen Zeitpunkt leicht erkannt werden, bevor der Patient hierdurch in Mitleidenschaft gezogen wird. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Patentanmeldung beschreibt der Ausdruck "Anästhesiesystem" das gesamte Umfeld, das durch den Patienten und die mit dem Patient verbundene Ausrüstung während der Anästhesie gebildet wird.

Die mit der Anästhesie verbundenen Risiken sind in einer Vielzahl von Entwicklungen bewertet worden und die dort erhaltenen Resultate variieren entsprechend der Altersverteilung und dem Gesundheitszustand der Patienten, der Entwicklungszeit und der geographischen Lage der Krankenhäuser, die an den Entwicklungen bzw. Forschungen beteiligt waren. Nun kann aus diesen Ergebnissen der einzige Schluß gezogen werden, daß die Risiken, die heutzutage mit einer Anästhesie verbunden sind, relativ gering sind. Zum Beispiel zeigten sich in der von Derrington 1987 zusammengestellten Zusammenfassung der Forschungsergebnisse aus der Einschätzung von Anästhesierisiken das mit der Anästhesie verbundene Risiko in maximal 22 Todesfällen pro 10.000 Anästhesien (Derrington, M.C. und Smith, G., "A review of studies of anaesthetic risk, morbidity and mortality", British Journal of Anaesthesia 59, pp. 815—833, 1987). In den meisten Forschungsstudien lagen die aktuellen Risiken sogar unterhalb dieses Wertes. Zum Beispiel betrug gemäß einer Studie, die 1986 in Turku, Finnland, durchgeführt wurde, das Anästhesierisiko in Finnland im Durchschnitt 0,61 Todesfälle pro 10.000 Anästhesien (Tikkanen, J. "Anestesia-ja leikkaustoimenpiteisiin liittyvät kuolemat Suomen sairaaloissa v. 1986" (Titel in Deutsch: "Todesfälle in Verbindung mit anästhetischen und chirurgischen Eingriffen in finnischen Krankenhäusern 1986"), Doktorarbeit, Turku-Universität, 1992).

Ungeachtet des geringen Risikos einer Anästhesie ist jede Verletzung oder jeder Tod eines Patienten aufgrund einer Anästhesie überflüssig. Um entstehende Notfallsituationen zu erkennen und sie in der frühest möglichen Phase vor dem Auftreten einer Verletzung zu beseitigen, wird der Zustand des Patienten heute überwacht mittels gemessener und auf verschiedene Arten errechneter Werte einer Überwachungsvorrichtung, die üblicherweise durch die Überwachungsvorrichtung in Form numerischer Werte oder Graphiken wiedergegeben wird. Einige der geläufigsten Beispiele dieser überprüften Variablen sind Blutdruck, ECG, Blutsauerstoffsättigung und numerische Werte und Graphiken, die die Zusammensetzung, den Druck und die Flußrate der Gasmischung betreffen, die dem Patienten zugeführt wird. Unterschiedliche Komplikationen beim Patienten, nicht korrekte Verwendung der Ausrüstung und aktuelle Fehlersituationen in der Ausrüstung werden dann als Änderungen der gemessenen und durch die Überwachungseinrichtung errechneten Werte wiedergegeben.

Je weiter das Spektrum der für die Erkennung von Notfallsituationen entscheidenden numerischen Werte und Graphiken ist, das dem Anästhesiepersonal verfügbar gemacht wird, desto besser sind die Möglichkeiten, zumindest theoretisch, um die Entwicklung von Notfallsituationen zu erkennen. In der Praxis bilden der Patient und die Anästhesievorrichtung während der Anästhesie ein sehr komplexes und fast unteilbares Ganzes. Daher ist es extrem schwierig, die Existenz einer Notfallsituation und deren Ursache auf der Basis der auf den Monitorschirmen dargestellten zahlreichen Graphiken und Werte abzuleiten. Während die Fähigkeit zur Ableitung mit der Schulung, Erfahrung und verbesserten Benutzer-Schnittstellen ansteigt, wird irgendwann ein Grenzwert erreicht, jenseits dessen die Hinzunahme zusätzlicher Werte und Graphiken auf dem Bildschirm nicht länger der Patientensicherheit zuträglich ist. Weiterhin behindert die fast unbegrenzte Anzahl akzeptierbarer Situationen die Erkennung von Notfallsituationen im frühen Stadium. Zum Beispiel können in der Anästhesieeinheit keine idealen Werte gesetzt werden, sondern das Beatmungsvolumen, Druck, Zusammensetzung der Gasmischung etc. variieren entsprechend dem Gewicht, Alter, Geschlecht, der Operationslage, dem physischen Zustand, der Operationsart und einer großen Anzahl anderer Parameter. Während Meßergebnisse leicht erkannt werden können, die von akzeptierbaren Werten abweichen, besteht weiterhin die Schwierigkeit, die Entstehung oder Ursache von Notfallsituationen zu erkennen.

Das Erkennen des Vorliegens einer Notfallsituation wird erleichtert durch obere und untere Alarmgrenzwerte, die heutzutage in den meisten Anästhesieüberwachungsvorrichtungen programmiert werden. Solche oberen und unteren Alarmgrenzwerte sind für jede Variable definiert, die durch die Anlage aus den Meßwerten gemessen oder errechnet wird. Wenn die Meßwerte nicht zwischen den gesetzten Alarmgrenzwerten liegen, gibt die Überwachungsanlage einen Alarm aus. Wenn der obere und untere Alarmgrenzwert sehr eng beieinander liegen, sind die meisten ausgegebenen Alarme falsch. Dennoch kann die Verwendung eng gesetzter Alarmgrenzwerte prinzipiell die Erkennung einer entstehenden Notfallsituation in einem relativ früheren Zeitpunkt erlauben, wobei jedoch die große Anzahl an Fehlalarmen wiederum dazu führt, die Identifikation von Notfallsituationen in der Praxis zu verhindern. Gestört durch derartige Fehlalarme greift das Personal oft darauf zurück, die gesamte Alarmeinrichtung abzustellen (Kerr, J.H. "Warning devices", British Journal of Anaesthesia, 57, S. 696—708, 1985).

Dementsprechend sind die Probleme der Fehlalarme bei einer großen Anzahl konventioneller Überwachungseinrichtungen dadurch gelöst, daß die Standardwerte der Alarmgrenzwerte in einem derart großen Abstand festgelegt werden, daß Fehlalarme mit Ausnahme der Start- und Endphasen der Anästhesie praktisch nicht auftreten. Wenn jedoch die gemessenen Werte schließlich den oberen oder unteren Alarmgrenzwert berühren, kann der Patient im schlimmsten Fall bereits eine Verletzung oder Beeinträchtigung davongetragen haben und auch in den günstigsten Fällen ist die verbleibende Zeit, um den Patienten zu retten, sehr gering. In einer derartigen Situation ist es von unschätzbbarer Wichtigkeit, daß das Anästhesiepersonal schnell die Ursache der Notfallsituation erkennen kann. Eine derartige Ursache einer Notfallsituation wird durch die Alarmgrenzwerte nicht identifiziert, die lediglich Informatio-

nen darüber vermitteln, welche Variable(n) den/die gesetzten Alarmgrenzwert(e) verletzt hat/haben.

Es sind Konstruktionen intelligenterer Systeme entwickelt worden, die in der Lage sind, die Notfallsituation zu identifizieren anhand einer Bewertung der gemessenen Werte durch analytische Einrichtungen und anschließender Verwendung der gefundenen Beziehungen, um einfache Systeme auf Regelbasis und Expertensysteme zu entwickeln (Jiang, A. "The design and development of a knowledge-based ventilatory and respiratory monitoring system", Doktorarbeit, Graduate School of Vanderbilt University, 1991; und Nederstigt, J.A. "Design and implementation of second prototype of the intelligent alarm system in anesthesia", Diplomarbeit (M.Sc.) Eindhoven, Technische Universität, 1991). Jedoch erfordern auch diese Systeme eine ausdrückliche Definition der bei dem Identifizierungsverfahren verwendeten variablen Werte.

Jedoch ist die Anzahl der gemessenen Variablen groß und Beziehungen zwischen diesen Variablen sind schwer aufzustellen, was weiterhin durch die Willkürlichkeit der Unterscheidung zwischen einer normalen und abnormalen Situation erschwert wird. Darüber hinaus ist die Identifizierung von Notfallsituationen beeinträchtigt durch das unterschiedliche Verhalten der gemessenen Variablen an unterschiedlichen Operations- bzw. Behandlungspunkten der Anästhesieeinheit. Der Ausdruck "Operationsspunkt" wird hier derart verwendet, daß er einen Modellvektor bezeichnet, der einer normalen Situation mit z. B. vordefinierten Anästhesieeinheitseinstellungen und einem vordefinierten Patienten entspricht. Jedoch sind nicht einmal Expertensysteme besonders gut geeignet, um derartige leicht undeutliche Beziehungen zu handhaben, was dazu führt, daß sie in extrem komplizierte Dimensionen anwachsen, was mit einer langsamen Reaktionszeit und einer eher massiven Struktur verbunden ist.

Westenskow hat in seiner Patentanmeldung (Titel "Device and method for neural network breathing alarm", Westenskow, D., Salt Lake City, Patentanmeldung Nr. PCT/US90/05250, 14. 09. 1990 (04. 04. 1991, 44 S.) versucht, die oben beschriebenen Probleme mittels eines künstlichen neuronalen Netzwerkes zu lösen, das auf einer Fehlerrückmeldung bzw. -rückfortpflanzung basiert. Normalerweise wird der Ausdruck "künstliches neuronales Netzwerk" verwendet, um Netzwerke zu bezeichnen, die durch parallele Zellen gebildet werden, in denen eine große Anzahl funktionsmäßig einfacher Zellen miteinander verbunden sind. Die Zellen sind im allgemeinen anpassungs- oder lernfähig und in einem System, das auf künstlichen neuronalen Netzwerken basiert, ist die Analyse von Meßwertänderungen, die mit Notfallsituationen verbunden sind, dem neuronalen Netzwerk überlassen. Durch ein derartiges Verfahren lernt das neuronale Netzwerk normale Situationen von abnormalen Situationen zu unterscheiden. Gleichzeitig lernt das Netzwerk die gegenseitige Beziehung der gemessenen Variablen in unterschiedlichen Situationen, wobei die Ursache der Notfallsituation in Verbindung mit der Erkennung der Notfallsituation identifiziert wird.

Künstliche neuronale Netzwerke sind insbesondere geeignet für unterschiedliche Arten von Mustererkennungsaufgaben. So wurden sie erfolgreich z. B. in der Spracherkennung, Handschreibtexterkennung, Texturerkennung und bei der Robotersteuerung verwendet. Mustererkennung durch künstliche neuronale Netzwerke ist im Stand der Technik bereits für unter-

schiedliche Aufgaben bei der Überwachung der Operationsbedingungen getestet worden. Sowohl das Westenskow-Verfahren als auch das in dieser Patentanmeldung beschriebene Verfahren beruhen im wesentlichen darauf. Im Unterschied zu industriellen Verfahren ersetzt man einfach eine der Komponenten in dem überwachten System.

Bei der Erkennung von Notfallsituationen in der Anästhesie werden die Meßergebnisse in Mustervektoren umgewandelt, welche das künstliche neuronale Netzwerk dann entweder als normale oder eine Notfallsituation klassifizieren mit einer gleichzeitigen Identifizierung der Ursache der Notfallsituation. Die unterschiedlichen Komponenten des Mustervektors werden später als "Eigenschaften" bezeichnet. Die Mustervektoren, die mit unterschiedlichen Notfallsituationen verknüpft sind, werden dem neuronalen Netzwerk vor der tatsächlichen Identifizierung gelehrt. Um Beispielsituationen zur Schulung des Systems zu erhalten, hat Westenskow sowohl einen Atmungssimulator als auch Versuchstiere verwendet. Während der Sammlung von Beispielsituationen wurden die zu identifizierenden Notfallsituationen möglichst oft wiederholt und mit so vielen Einstellungen der Anästhesieeinheit wie möglich. Die Eigenschaften, die aus den Meßergebnissen berechnet wurden, die wiederum aus den Notfallsituationen erhalten wurden, werden dem neuronalen Netzwerk in einem separaten Lernprozeß beigebracht. Danach lernt das neuronale Netzwerk auch solche Mustervektoren zu identifizieren, welche von den anfänglichen Schulungsvektoren, die dem neuronalen Netzwerk gelehrt worden sind, abweichen, jedoch noch eine Ähnlichkeit aufweisen, die den neuronalen Netzwerken während der Identifizierung der Notfallsituationen somit erlauben, eine Generalisierung ausgehend von den dem System gelehnten Beispielen durchzuführen. Somit ist der oben diskutierte Lernprozeß, welcher ebenfalls in der Westenskow Patentanmeldung beschrieben ist, keineswegs neu: Ein entsprechendes Verfahren wird durchgeführt, wenn irgendein neuronales Netzwerk in irgendeiner möglichen Anwendung verwendet wird.

Die Ursache einer Notfallsituation wird nach der Westenskow Patentanmeldung identifiziert durch einen Vergleich des Meßwertes zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einem Wert, der während der davorliegenden Meßzyklus erhalten wurde, wobei die Abhängigkeit der Eigenschaften, die zur Identifikation z. B. der Einstellungen der Anästhesieeinheit verwendet werden, reduziert ist. Jedoch verursachen Änderungen in den Einstellungen der Anästhesieeinheit und normale physiologische Änderungen beim Patienten Fehlalarme in einem System, das auf der Erkennung von Änderungen basiert, während gefährliche Änderungen, die sich nur schrittweise entwickeln, in der Regel unentdeckt bleiben. Um derartige Fehlalarme zu verhindern, zeigt Westenskow in seiner Patentanmeldung eine Lösung, bei welcher das Vorliegen einer Notfallsituation zuerst durch ein neuronales Rückmeldungs-Netzwerk erkannt wird und nur wenn eine derartige Notfallsituation erkannt wird, wird die Ursache der Notfallsituation mittels eines anderen ähnlichen Typs eines neuronalen Netzwerks identifiziert.

Jedoch hat die Erfindung von Westenskow zahlreiche Nachteile, von denen die meisten den Typ des verwendeten neuronalen Netzwerks betreffen. Eine Diskussion der mit der Lösung verbundenen Nachteile wird nachfolgend durchgeführt:

1. Die Bestimmung eines Unsicherheitswertes für das Identifikationsergebnis durch ein neuronales Rückmeldungs-Netzwerk ist nicht glaubwürdig oder zuverlässig im Falle des zu identifizierenden Mustervektors, der nicht einem dem neuronalen Netzwerk gelehnten Trainingsvektor gleicht oder ähnlich ist. Dann kann ein vollständig falsches Identifizierungsergebnis zwangsläufig weitaus gefährlichere Konsequenzen haben als eine Nachricht, die ausführt, daß eine Identifizierung höchstwahrscheinlich überhaupt nicht möglich ist.

2. Weil bei der Schulung des für die Erkennung einer Notfallsituation verwendeten neuronalen Netzwerks Meßergebnisse aus normalen Situationen als auch Notfallsituationen verwendet werden müssen, ist die Schulung durch einen Anwender unter normalen Klinikbedingungen nicht möglich. Weiterhin können die durchschnittlichen Meßergebnisse, die bei unterschiedlichen Arten von Operationen erhalten werden, signifikant voneinander abweichen: zum Beispiel werden bei neurochirurgischen Operationen höhere Beatmungsvolumina als normal verwendet, was dazu führt, daß der CO₂-Wert der ausgeatmeten Luft beträchtlich unter die Werte fällt, die normalerweise in der Anästhesie üblich sind. Die verwendeten Beatmungsvolumen und Beatmungsgeschwindigkeiten variieren auch in Abhängigkeit von der Größe des Patienten und den vom Anästhesist gesetzten Prioritäten.

3. Es ist für den Anwender extrem schwierig, wenn nicht sogar unmöglich Erklärungen für die Gründe des Identifikationsergebnisses zu geben. Diese künstlichen neuronalen Netzwerken inhärente Eigenschaft ist oft kritisiert worden, speziell in Verbindung mit der Identifizierung von Notfallsituationen in der Anästhesie. In der Tat erscheinen neuronale Netzwerke in der Regel als black box: ein Mustervektor wird dem Eingang des Netzwerkes zugeführt und der Ausgang des Netzwerkes stellt ein Identifikationsergebnis bereit, während niemand eine exakte Information über die Gründe hat, die das neuronale Netzwerk zu der Entscheidung bewogen haben. Daher werden von den Anwendern auch schnell Vorbehalte bezüglich der Zuverlässigkeit der Entscheidung erhoben.

4. Nachdem Meßergebnisse sich permanent auf dem Level einer Notfallsituation befinden, ist die Identifikation der Ursache der Notfallsituation nicht länger möglich.

5. Die Identifizierung der Gründe für eine sich schrittweise bzw. langsam entwickelnde Notfallsituation ist nicht möglich.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des oben beschriebenen Standes der Technik zu überwinden und ein gänzlich neues Verfahren für die Erkennung und Identifizierung von Notfallsituationen in einem Anästhesiesystem zu schaffen.

Die Erfindung basiert auf der Verwendung einer selbstorganisierenden Karte bei den Schulungs- und Meßphasen des Systems.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist charakterisiert durch die Merkmale des Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Es ist primäres Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens, die Erkennung von Notfallsituationen in der Anästhesie und die Identifizierung der Ursache derartiger

Situationen unabhängig von dem Operationspunkt des Systems so früh wie möglich zu erfassen. Es ist zweites Ziel der vorliegenden Erfindung, im Unterschied zu Westenskow neben der erkannten Notfallsituation den Ungewißheitsgrad des Identifikationsergebnisses auszu-drücken. Es ist drittes Ziel der Erfindung, das Vorliegen einer Notfallsituation mittels eines künstlichen neuronalen Netzwerks zu erkennen, nachdem das Netzwerk durch Beispiele geschult worden ist, die sich allein auf Normalsituationen beziehen. Es ist viertes Ziel der Erfindung, dem Anwender neben dem Ergebnis des Identifikationsprozesses auch die Gründe für das Identifizierungsergebnis anzugeben. Ein weiteres Ziel ist, die Identifizierung von schrittweise oder sich langsam entwickelnden Notfallsituationen genauso zu ermöglichen wie eine zuverlässige Identifizierung einer Notfallsituation bestimmender Meßergebnisse als auch eine klare Präsentation der Trends bzw. Entwicklungen der Meßergebnisse für den Anwender.

Alle oben genannten Ziele werden erreicht durch spezielle Verwendung eines künstlichen neuronalen Netzwerkes für die Identifizierung sowohl der Notfallsituation als auch ihrer Ursache, welches Netzwerk Selbstorganisationskarte genannt wird, entwickelt von Prof. Kohonen als auch durch Modifikationen dieser Karte und der daraus abgeleiteten Algorithmen (Kohonen, T. "Die Selbstorganisationskarte", Proceedings of the IEEE, 78, S. 1464—1480, 1990, und Kohonen, T. "Eigenständige Bildung topologisch korrekter Eigenschaftskarten", Biological Cybernetics, 43, S. 59—69, 1982) und durch Verwendung eines angepaßten Verfahrens zur Identifizierung von Notfallsituationen. Die selbstorganisierende Karte (self-organizing map) besitzt allgemeine Eigenschaften, die denen anderer neuronaler Netzwerktypen ähnlich sind, was die Erkennung und Identifizierung von Notfallsituationen ermöglicht, ohne eine explizite Bestimmung der bei dem Identifikationsverfahren verwendeten Parameterwerte zu erfordern. Andererseits hat die selbstorganisierende Karte Eigenschaften, die in der Lage sind, die mit Westenskow's Erfindung verknüpften und weiter oben diskutierten Nachteile zu beseitigen.

Mit anderen hat Kohonen die Funktion der selbstorganisierenden Karte ziemlich erschöpfend in der Literatur beschrieben und die Funktion der Karte kann untersucht werden unter Verwendung der Public Domain Software SOM_PAK, herausgegebenen von dem Laboratorium für Informationstechnologie, Technische Universität von Helsinki. In diesem Zusammenhang ist die Betriebsweise der Karte lediglich umrissen und das Ziel der nachfolgenden Beschreibung besteht darin, die Gründe darzulegen, warum sich die selbstorganisierende Karte insbesondere bei der Erkennung und Identifizierung von Notfallsituationen in einem Anästhesiesystem auszeichnet. Wahrscheinlich kann die erschöpfendste Präsentation der eine selbstorganisierende Karte betreffenden Gleichungen in Kohonen's Artikel "Die selbstorganisierende Karte" gefunden werden, die oben bereits angesprochen worden ist. Die unten gegebenen Beschreibungen der beiliegenden Diagramme beleuchten sowohl die Identifizierung des Mustervektors als auch die Schulungsphase der Karte.

Generell erhält eine selbstorganisierende Karte einen Satz von Kartenzellen, die in einem ein- oder zweidimensionalen Raum dargestellt sind, wobei die Zellen in einer gegebenen geordneten Anordnung angeordnet sind. In einer zweidimensionalen Karte bezieht sich diese geordnete Anordnung üblicherweise auf ein quadratisches oder hexagonales Gitter. Jeder Kartenzelle ist

ein Gewichtsvektor m_i zugeordnet, wobei der Index i die Stelle der Zelle in der Anordnung betrifft. Zum Beispiel ist in einer zweidimensionalen quadratischen Karte der Subindex $i = (x, y)$, wobei x die x -Koordinate der Zellenposition und y die entsprechende y -Koordinate darstellt.

Jeder Gewichtsvektor m_i repräsentiert einen vorgegebenen Satz von Mustervektoren, die bei der Schulung der Karte verwendet werden und in entsprechender Weise wird die Identifizierung mittels der Karte in einfacher Weise durchgeführt, indem aus der Karte der Gewichtsvektor oder Wertungsvektor gefunden wird, der dem zu identifizierenden Mustervektor am nächsten kommt; die so gefundene Kartenzelle wird später der "Gewinner" genannt. Die Unähnlichkeitsentfernung zwischen zwei Vektoren wird in der Regel als Euklidische Distanz berechnet. Das tatsächliche Identifikationsergebnis wird klassifiziert auf der Basis der Mustervektoren, die früher für die Gewinnerzellen klassifiziert worden sind: Zum Beispiel wenn die Gewinnerzelle für den zu identifizierenden Mustervektor früher 56 Mustervektoren klassifiziert hatte, die die Notfallsituation A betrafen und drei Mustervektoren, die die Notfallsituation B betrafen, wird das Identifikationsergebnis mit der höchsten Wahrscheinlichkeit als Notfallsituation A deklariert.

Während der Schulungsphase der selbstorganisierenden Karte ändern sich die Gewichts- oder Bewertungsvektoren der Kartenzellen schrittweise, so daß sich ihre Positionen entsprechend der Häufigkeitsverteilung der Mustervektoren in dem Schulungsmaterial ausrichten. Somit ist auch die Anzahl der Kartenzellen, die den Teil A des Kartenraums betreffen, größer als diejenigen, die den Teil B der Karte betreffen, wenn die größere Anzahl der Mustervektoren im Schulungsmaterial z. B. die Notfallsituation A betrafen im Vergleich zur Notfallsituation B.

Weiterhin ist ein wesentlicher Vorgang, der während der Schulungsphase stattfindet, der Ordnungsprozeß der Kartenzellen, welcher im vorliegenden Kontext sich nicht auf die tatsächliche Bewegung der Zellen auf der Karte bezieht, sondern lediglich auf die Änderung des Gewichts- oder Bewertungsvektors derart, daß die Position jeder Zelle in der Karte in einer vorgegebenen Weise mit dem Gewichts- oder Bewertungsvektor der Zelle verknüpft wird, wenn der Gewichtsvektor mit den Gewichtsvektoren der benachbarten Zellen auf der Karte verglichen wird. In der Praxis bedeutet dies, daß die Gewichtsvektoren, die zu Zellen gehören, die auf der Karte entsprechend einer gegebenen Metrik dichter beieinander angeordnet sind, im allgemeinen auf der Karte näher beieinander angeordnet sind als die Gewichtsvektoren der weiter voneinander entfernten Zellen. Jedoch kann diese Regel nicht auf alle Fälle verallgemeinert werden: Die Projektion von Eigenschaftskartenvektoren mit einer Dimensionalität höher als 2 auf eine zweidimensionale Karte derart, daß sie ihre relativen Abstände beibehalten, ist im allgemeinen unmöglich. Dann können die Zellen als positionsmäßig geordnet betrachtet werden. Wenn sowohl die zu identifizierenden eigenschaftsenthaltenden Vektoren als auch die Karte eindimensional sind, muß das Ordnungskonzept offensichtlich dahingehend verstanden werden, daß es sich auf die Anordnung der Gewichte durch ihre Größe entsprechend der Anordnung der Kartenzellen bezieht, während exakte Ordnungsbeziehungen für multidimensionale Eigenschaftsvektoren und Karten überhaupt nicht dargestellt werden können.

Die selbstorganisierende Karte wird ohne Überprüfung bzw. Beaufsichtigung geschult, d. h. eine mit einem Mustervektor verknüpfte Notfallsituation wird der Karte während der Schulungsphase nicht enthüllt, sondern die mit den Kartenzellen verknüpften Notfallsituationen werden erst nach der Schulungsphase bewertet, indem getestet wird, zu welchen Zellen der Karte die Mustervektoren des mit unterschiedlichen Notfallsituationen verknüpften Schulungsmaterials klassifiziert werden. Weil jeder Mustervektor entweder mit einer normalen Situation oder irgendeiner Notfallsituation verknüpft ist, wird alle erhältliche Information während der Schulungsphase nicht verwendet, was zu Lernresultaten führen könnte, die solchen Lernresultaten überlegen sind, die mittels eines überwachten Schulungsprozesses eines neuronalen Rückmeldungs-Netzwerkes (backpropagation neural network) erhalten werden. Jedoch kann die Exaktheit der Identifikation der selbstorganisierenden Karte verbessert werden durch die Verwendung sogenannter Schulungsvektor-Quantisierungsalgorithmen (LVQ Algorithmus), cf. Kohonen, T., Kangas, J., Laaksonen, J. und Torkkola, K. "LVQ-PAK: A Program Package for the Correct Application of Learning Vector Quantization Algorithms", Proceedings of the international Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Baltimore, Maryland, 7.-11. Juni 1992, S. I-725—I-730, 1992.

Die Schulungsphase sowohl des Systems in der Patentanmeldung von Westenskow als auch das System, das auf dem in der vorliegenden Patentanmeldung beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren basiert, vollzieht sich in der gleichen bekannten Weise:

1. Die mit den zu identifizierenden Klassen (Notfallsituationen) verknüpften Meßergebnisse und die daraus errechneten Eigenschaften werden gesammelt (z. B. mittels eines Beatmungssimulators oder Versuchstiere). Die errechneten Eigenschaften werden in Mustervektoren umgeformt.
2. Die Mustervektoren werden dem neuronalen Netzwerk gelehrt, bis eine Einrichtung oder Maßnahme zur Charakterisierung der Lernstufe anzeigt, daß ein ausreichend gutes Lernergebnis erzielt worden ist. Für die selbstorganisierende Karte ist ein geeignetes Maß für das Lernergebnis z. B. der Abstand zwischen dem Mustervektor, der der Karte gelehrt wird, und dem Gewichtsvektor der Gewinnerzelle, wobei ein variabler Durchschnitt über ein gewünschtes Zeitintervall errechnet wird. Später in dieser Beschreibung wird dieser gegenseitige Abstand zwischen dem Gewichtsvektor der Gewinnerzelle und dem zu identifizierenden oder gelehnten Mustervektor als "Quantisierungsfehler" bezeichnet.

Wie bereits oben erwähnt, muß bei der Benutzung der Karte eine weitere Phase nach der Schulungsphase durchlaufen werden, um zu überprüfen, um zu welchen Zellen der Karte die Mustervektoren des mit unterschiedlichen Notfallsituationen verknüpften Schulungsmaterials klassifiziert werden.

Um das Vorliegen von Notfallsituationen zu erkennen und ihre Gründe zu identifizieren, verwendet diese Erfindung eine Methode, die ähnlich der Methode ist, die in der Patentanmeldung von Westenskow beschrieben ist. Hier wird zuerst das Vorliegen der Notfallsituation erkannt, und nur nach dem Erkennen einer Notfallsituation wird die Ursache der Notfallsituation iden-

tifiziert. Danach basiert die Erkennung der Notfallsituation auf sogenannten absoluten Eigenschaften, wobei die Notfallsituation erkannt wird durch Verwendung charakteristischer Werte, die aus den Meßergebnissen eines gegebenen Zeitpunktes allein bei der Errechnung der Eigenschaften errechnet werden. Später in diesem Text wird der durch absolute Eigenschaften gebildete Mustervektor als "absoluter Mustervektor" (absolute pattern vector) bezeichnet.

Im Unterschied zur Erfindung von Westenskow wird die Ursache der Notfallsituation identifiziert durch Vergleichen des absoluten Mustervektors eines gegebenen Zeitpunktes mit einem Referenzvektor, der weder der vorhergehenden Identifikationsberechnung verwendete absolute Mustervektor noch der variable Durchschnitt mehrerer vorhergehender absoluter Mustervektoren ist. In dieser Anmeldung wird der Referenzvektor gebildet, indem zuerst eine relativ kleine Anzahl (z. B. 5) absoluter Mustervektoren aufgenommen wird, die mit normalen Situationen verknüpft sind und anschließend z. B. der Medianvektor oder der Zentralvektor der Mustervektoren errechnet wird (s. Astola, J., Haavisto, P. und Neuvo, Y. "Vector Median Filters", Proceedings of the IEEE, 78, S. 678 bis 689, 1990) oder deren Mittelwert bzw. Durchschnitt. Eine weitere Möglichkeit ist die Abschätzung der Referenzvektorstärken aus Informationen, die sich auf die Anästhesieeinheit und die Lage des Patienten beziehen.

Die oben beschriebene Methode erleichtert die zuverlässige Identifikation einer Notfallsituation auch nachdem sich die Meßergebnisse auf einen Wert eingepegelt haben, der der Notfallsituation entspricht. Gleichzeitig können sich langsam oder schrittweise entwickelnde Notfallsituationen identifiziert werden.

Im Unterschied zu der von Westenskow beschriebenen Erfindung wird das Vorliegen einer Notfallsituation gemäß der vorliegenden Erfindung erkannt, indem die Karte mit Beispielen geschult wird, die lediglich mit normalen Situationen verknüpft sind. Um dies zu erreichen, stellt die selbstorganisierende Karte eine Wiedergabe normaler Situationen dar, und die Existenz einer Notfallsituation wird erkannt, wenn der Quantisierungsfehler durch den Anwender festgelegte diskrete Werte überschreitet. Eine ähnliche Methode ist in einer Diplomarbeit (M.Sc.) von Mika Kasslin untersucht worden (Kasslin, M. "Use of self-organizing feature maps in condition monitoring for maintenance", Diplomarbeit zum Dipl.-Ingenieur (M.Sc.), Technische Universität Helsinki 1992). Viktor Tryba und Karl Goser haben das Verfahren bei der Steuerung eines chemischen Prozesses studiert (Tryba, V. und Goser, K. "Self-Organizing Feature Maps for Process Control in Chemistry", Proceedings of the International conference of Artificial Neural Networks (ICAWN), Espoo, Finnland, 24. bis 28. Juni 1991, Amsterdam, Elsevier Science Publishing Company, S. 847—852).

Somit kann der Anwender die Eigenschaftskarte, die fähig ist zur Erkennung des Vorliegens einer Notfallsituation, allein während einer normalen Anästhesie schulen und es sind keine induzierten Notfallsituationen erforderlich, um ein zuverlässiges Lernresultat zu erzielen. Darüber hinaus können individuelle Karten für die Notfallerkennung mit persönlichen Prioritäten gebildet werden, z. B. für unterschiedliche Anästhesisten und Patiententypen. Weiterhin kann jedem Operationstyp eine eigene individuelle Art von Notfallerkennungskarte zugeordnet werden. Somit wird ein Verfahren erzielt, das in der Lage ist, durchschnittliche Unterschiede bezüglich

des Operationspersonals, der Patienten und der Operationsart in Betracht zu ziehen. Darüber hinaus ist das Vorliegen einer Notfallsituation zuverlässiger zu erkennen als durch das Verfahren der Westenskow'schen Erfindung.

Der errechnete Quantisierungsfehler kann ebenfalls bei der Identifizierung der Ursache einer Notfallsituation verwendet werden. Die höchstwahrscheinliche Notfallsituation, die mit einem gegebenen Mustervektor verknüpft ist, wird abgeleitet aus der Notfallsituation, die mit der Gewinnerzelle der Karte verknüpft ist. Jedoch, wenn der Quantisierungsfehler zwischen dem Mustervektor und der Gewinnerzelle groß ist, kann das Identifizierungsergebnis als unsicher betrachtet werden. Somit kann ein Unsicherheitswert einfach durch Darstellung der Größe des Quantisierungsfehlers bereitgestellt werden. Bei der Erfindung von Westenskow ist die Bereitstellung des Unsicherheitswertes nicht zuverlässig, weil der Identifizierungsprozeß in einem Rückmeldungsnetzwerk auf Hyperflächen basiert, die die unterschiedlichen Klassen voneinander trennen. Im Falle, daß der Mustervektor weit entfernt von den geschulten Vektoren liegt, mag jedoch das Identifizierungsergebnis unter Bezug auf die Hyperoberflächen exakt erscheinen, während es in der Tat extrem unzuverlässig sein kann.

Die Gründe, die von der selbstorganisierenden Karte bei dem Identifizierungsprozeß verwendet werden, können einfach zerlegt bzw. dargelegt werden, indem die Werte der Eigenschaften in unterschiedlichen Teilen der Karte untersucht und dargestellt werden. Auf diese Weise kann abgeleitet werden, welche Eigenschaften tragend bei der Differenzierung einer gegebenen Notfallsituation von einer anderen Notfallsituation sind. Eine derartige Ableitung wird erleichtert durch die einfache Struktur der Karte und die gegenseitige Ordnung der Kartenzellen untereinander.

Die Größe der Meßergebnisse, die durch eine Notfallsituation hervorgerufen wird, und ebenfalls der Eigenschaftsänderungen, die aus diesen Ergebnissen errechnet wird, können an unterschiedlichen Operationspunkten des Anästhesiesystems stark variieren. Um die Exaktheit der Identifizierung zu verbessern, verwendet die vorliegende Erfindung ein Verfahren, bei dem der Operationspunkt des Anästhesiesystems zuerst mittels einer Karte identifiziert wird, die mit absoluten Mustervektoren geschult worden ist, auf welche Karte später mit der Bezeichnung "Stufe 1 Karte" bzw. Primärkarte Bezug genommen wird. Jede Zelle in der Stufe 1 Karte ist verknüpft mit einer zugewiesenen, selbstorganisierenden Karte der Stufe 2 bzw. Sekundärkarte und dementsprechend ist jede Stufe 2 Karte verknüpft mit zumindest einer Zelle der Stufe 1 Karte. Somit muß nicht jede Zelle einer Stufe 1 Karte notwendigerweise eine eigene Stufe 2 Karte aufweisen. Insbesondere wenn die Änderungen, die z. B. durch zwei unterschiedliche Notfallsituationen verursacht werden, einander gleichen an Operationspunkten, die in zwei unterschiedlichen Zellen der Stufe 1 Karte aufgelistet sind, so kann die Ursache der Notfallsituation anhand der gleichen Stufe 2 Karte identifiziert werden. Die Gesamtheit, die durch die selbstorganisierenden Karten der Stufe 2 gebildet wird, wird später mit der Bezeichnung "Kartensatz" beschrieben.

Neben dem Identifizierungsergebnis zu einem gegebenen Zeitpunkt kann die selbstorganisierende Karte auch einen starken visuellen Anhaltspunkt auf eine mögliche Notfallsituation geben, im Falle daß das Identifizierungsergebnis

tifizierungsergebnis aus bestimmten Gründen nicht korrekt ist. Weil die analogen Notfallsituationen nahe beieinander in der selbstorganisierenden Karte klassifiziert sind, können die nächstmöglichen Notfallsituationen aus Notfallsituationen abgeleitet werden, die mit den Nachbarzellen der Gewinnerzelle oder -zellen verknüpft sind. Neben dem oben genannten Identifizierungsergebnis in einer gegebenen Zeitspanne ist die selbstorganisierende Karte in der Lage, die Änderungen der Meßergebnisse als Funktion der Zeit sichtbar zu machen, indem der Ort der Gewinnerzelle als punktierte Linie auf dem Koordinatensystem der Karte aufgetragen wird. Weil die Kartenzellen in einer bestimmten Ordnung angeordnet sind, vollzieht sich die Aufzeichnung der punktierten Linie ohne größere Sprünge. Die vorteilhafte gegenseitige Anordnung der Kartenzellen führt zu zusätzlichen Vorteilen mit Bezug auf die Anwenderfreundlichkeit des Systems. Die gleiche Eigenschaft kann verwendet werden, um die Wechselwirkung von Trends zu visualisieren, die mit gerade verwendeten einzelnen Variablen verknüpft sind.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren und die Faktoren, die die Funktion des Verfahrens betreffen, detaillierter unter Zuhilfenahme der beiliegenden Zeichnung beschrieben. In dieser zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zum Erkennen von Notfallsituationen in einem Anästhesiesystem im allgemeinen Fall;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer zweidimensionalen selbstorganisierenden Karte, bei welcher die Kartenzellen in einem hexagonalen Gitter angeordnet sind;

Fig. 3 eine Darstellung einer ungeordneten selbstorganisierenden Karte;

Fig. 4 eine Darstellung des Ordnungsverfahrens der selbstorganisierenden Karte;

Fig. 5 eine Darstellung einer fertig geordneten selbstorganisierenden Karte;

Fig. 6 eine schematische Anordnung einer Anästhesieeinheit, in der die wichtigeren Teile der Erfindung der vorliegenden Patentanmeldung getestet worden sind;

Fig. 7 eine Darstellung der Gewinnerzelle auf einer der Stufe 2 Karten während einer kurzzeitigen Verstopfung der Intubationsröhre bei dem Identifizierungsverfahren für Fehler des Atmungskreises;

Fig. 8 die Darstellung der Bewegung der Gewinnerzelle auf einer Stufe 2 Karte während einer vorübergehenden Verstopfung der Intubationsröhre in dem Identifizierungsprozeß der Fig. 7;

Fig. 9 die graphische Darstellung des Quantisierungsfehlers der Notfallidentifizierungskarte während einer vorübergehenden Verstopfung der Intubationsröhre;

Fig. 10 einen Ausdruck der Werte der notfallidentifizierenden Eigenschaft in unterschiedlichen Teilen der Karte; und

Fig. 11 ein Funktionsschaltbild des Verfahrens in der praktischen Anwendung.

Fig. 1 umreißt das System zum Identifizieren von Notfallsituationen in einem allgemeinen Anästhesiesystem. Eine Übersicht der in den Darstellungen verwendeten Bezugszeichen wird nachfolgend gegeben:

- 1 Gesamtheit, die durch den Patienten, die Anästhesieeinheit, Meßwandler, Probenröhren und anderes Anästhesiezubehör gebildet wird
- 2 Anästhesieeinheit
- 3 Atmungskreis der Anästhesieeinheit
- 4 Patient

5 Meßwandler

6 Situationsmodell, das bei der Berechnung der Eigenschaften verwendet wird

7 Identifizierung von Notfallsituationen mittels Grenzwertalarne, einfachen Regeln, Expertensystemen oder neuronalen Netzwerken

8 Verbindungen zum Gassystem des Krankenhauses

9 Meßresultate

10 Mustervektor.

Der Zweck dieses Diagramms besteht darin, daran zu erinnern, daß das Identifizierungsverfahren von Notfallsituationen und die durch das Verfahren erhaltenen Identifizierungsergebnisse lediglich einen Teil des Systems zur Identifizierung von Notfallsituationen darstellen. Möglicherweise ist der größte Einfluß auf die Richtigkeit der Identifizierungsergebnisse durch die erhaltenen Meßresultate 9 gegeben als auch durch die Anzahl der Meßwandler 5 und ihre korrekte Anordnung bzw. Platzierung. Weiterhin wichtig für das Identifizierungsergebnis ist die korrekte Nachbildung des untersuchten Ereignisses und die Auswahl korrekter Eigenschaften auf der Basis des für diesen Zweck entwickelten Modells. Nachbilden erfordert in diesem Zusammenhang nicht notwendigerweise die Entwicklung eines exakten mathematischen Modells, sondern ehe die Bildung eines intuitiven Konzepts eines Verfahrens, das zur Berechnung der Eigenschaften geeignet ist. Ein Beispiel solcher Nachbildung besteht in der Betrachtung der Anästhesie als ein Verfahren, bei dem die Werte im Normalfall stabil bleiben, sich in Notfallsituationen wie auch beim Ändern der Einstellungen der Anästhesieeinheit jedoch ändern. Auf der Basis des obigen beispielhaften Modells wurde hier eine Lösung gewählt, bei der die Ursache der Notfallsituation auf der Basis von Änderungen in den Meßergebnissen identifiziert wurde.

Obwohl die in dem Diagramm dargestellte Identifizierungsmethode im Stand der Technik bekannt sein kann, wird der Begriff "Mustervektor" zumeist mit Mustererkennung und künstlichen neuronalen Netzwerken verknüpft, d. h. mit Verfahren, bei welchen der Mustervektor im allgemeinen in seiner Gesamtheit untersucht wird. Weil das Identifizierungsverfahren auch durch die Untersuchung jeder Eigenschaft des Mustervektors durchgeführt werden kann, kann das vorliegende Verfahren zum Identifizieren einer Notfallsituation gleichermaßen auf z. B. Alarmgrenzwerten basieren, wobei die Ursache oder Ursachen der Notfallsituation überhaupt nicht identifiziert werden können (Identifizierungsexaktheit 0%).

Gute Anfangsbedingungen, die geschaffen werden durch die korrekte Platzierung der richtigen Meßwandler 5 und die Wahl korrekter Eigenschaften für die Identifizierung der Notfallsituationen können leicht dadurch zunichte gemacht werden, daß falsche Identifizierungsverfahren verwendet werden, wohingegen unvorteilhafte Vorbedingungen aufgrund einer falschen Anordnung der Meßwandler, die falsche Werte messen und die Auswahl falscher Eigenschaften auch durch die exakteste Identifizierungsmethode schwierig zu kompensieren sind. Daher wirkt sich der Austausch eines guten Identifizierungsverfahrens durch ein noch besseres nicht notwendigerweise auf die Exaktheit des Identifizierungsverfahrens aus, sondern erst nachdem eine gewisse Anwendungsstufe überschritten worden ist, werden eher die anderen Eigenschaften des Identifizierungsverfahrens entscheidender: nämlich derartige Eigenschaften, die speziell das Ziel der vorliegenden Erfindung sind

und die diese von z. B. Expertensystemen und der Erfindung von Westenskow unterscheiden.

Derngemäß betrifft die vorliegende Erfindung ein Identifizierungsverfahren, das auf der höchsten Stufe in dem Diagramm dargestellt ist. Sie bezieht sich auch teilweise auf von dem Modell verwendete Eigenschaften und auf das intuitive Modell, das die Rechenbasis für die Herausarbeitung der Eigenschaften bildet.

Fig. 2 zeigt eine zweidimensionale Karte 11, die Kartenzellen 12 aufweist, die in einem hexagonalen Gitter 13 angeordnet ist. Jede Kartenzelle ist von sechs Nachbarn umgeben mit Ausnahme der Kartenzellen an den Rändern der Karte.

Fig. 3 zeigt eine ungeordnete zweidimensionale Karte, bei der die Gewichtsvektoren und die zu identifizierenden Mustervektoren dreidimensional sind. Insbesondere sind die Komponenten der Mustervektoren die unterschiedlichen Eigenschaften, die aus den vom Anästhesiesystem erhaltenen Meßergebnissen errechnet werden. Nachfolgend werden die Bezugszeichen der Figur aufgelistet:

- 14 zweidimensionale selbstorganisierende Karte
- 15 Gewichtsvektor / Mustervektorraum
- 16 Pfeil, der die Kartenzelle anzeigt, mit welcher der Gewichtsvektor verknüpft ist
- 17 Teil des Mustervektorraums, der mit der Notfallsituation A verknüpft ist
- 18 Teil des Mustervektorraums, der mit der Notfallsituation B verknüpft ist
- 19 Teil des Mustervektorraums, der mit der Notfallsituation C verknüpft ist.

In der Darstellung wird gezeigt, daß die Karte noch nicht die geordnete Struktur des Mustervektorraums gelernt hat, denn die Kartenzellen, die die gleiche Notfallsituation betreffen, sind noch auf unterschiedliche Teile der Karte verteilt. Üblicherweise befindet sich die Karte vor der Schulungsphase in dem dargestellten Zustand.

In Fig. 4 ist die Betriebsweise der Karte während der Schulungsphase dargestellt. Die Bezugszeichen der Figur werden nachfolgend erläutert:

- 20 Mustervektor, der der Karte gelehrt worden ist, wobei der Vektor die oben genannten Eigenschaften aufweist. Die Dimensionalität des Mustervektors ist in diesem einfachen Beispiel 3 und die Eigenschaften können im Idealfall als Fließkommawerte betrachtet werden, welche, falls notwendig, durch ganzzahlige Werte approximiert werden können, die z. B. in Computern verwendet werden. Im Zusammenhang mit der Anästhesie kann der Mustervektor z. B. die folgenden Komponenten aufweisen:

- 1. CO₂-Gehalt der ausgeatmeten Luft
- 2. Beatmungsluftvolumen
- 3. Maximale Flußrate der dem Patienten zugeleiteten Gasmischung

- 21 Eine Gewinnerzelle, deren zugehöriger Gewichtsvektor mit x1 bezeichnet ist. Die Gewinnerzelle ist dem der Karte gelehrteten Mustervektor am nächsten angeordnet und der Abstand zwischen den beiden Vektoren kann ausgedrückt werden z. B. durch die normale Euklidische Distanz.

- 22 Im allgemeinen ist die Größe des Satzes der Nachbarzellen für die Zelle am Anfang der Schulungsphase fast so groß wie die gesamte geschulte Karte. In diesem

beispielhaften Diagramm ist die Schulungsphase bereits auf eine Stufe fortgeschritten, bei der die Größe des Nachbarsatzes 24 bereits so groß wie 1 ist. Ebenfalls haben sich die Gewichtsvektoren der in dem Nachbarsatz beinhalteten Zellen der Gewinnerzelle 21 näher in Richtung auf den geschulten Mustervektor bewegt. Demgemäß ist in diesem Beispiel der Gewichtsvektor x2, der z. B. mit Kartenzelle 22 verknüpft ist, näher an den Mustervektor herangerückt.

- 23 Kartenzelle, deren zugehöriger Gewichtsvektor x3 nahe an dem der Karte gelehrteten Mustervektor angeordnet ist. Dieser Gewichtsvektor ist jedoch nicht während der Schulungsphase in Richtung auf den Mustervektor gewandert, weil die mit ihm verknüpfte Kartenzelle nicht im Nachbarsatz der Gewinnerzelle liegt.

- 24 Nachbarsatz der Gewinnerzelle, deren Radius 1 beträgt.

Fig. 5 zeigt eine organisierte bzw. geordnete Karte, die als Resultat der oben beschriebenen Schulungsphase erhalten worden ist. Bei dieser Karte ist jeder angrenzende Teil des Vektorraums der jeder klassifizierten Notfallsituation zugeordnet ist, durch einen angrenzenden Bereich auf der Karte (im Idealfall) repräsentiert. Die Bedeutung der Bezugszeichen der Figur wird nachfolgend wiedergegeben:

- 25 Zweidimensionale selbstorganisierende Karte
- 26 Gewichtsvektor/Mustervektor-Raum
- 27 Pfeil, der die Kartenzelle anzeigt, mit welcher der Gewichtsvektor verknüpft ist
- 28 Teil des Mustervektorraums, der die Notfallsituation A betrifft
- 29 Teil des Mustervektorraums, der die Notfallsituation B betrifft
- 30 Teil des Mustervektorraums, der die Notfallsituation C betrifft
- 31 Kartenbereich, der die Notfallsituation A betrifft
- 32 Kartenbereich, der die Notfallsituation B betrifft
- 33 Kartenbereich, der die Notfallsituation C betrifft.

Fig. 6 zeigt den Atmungskreis einer Anästhesieeinheit, bei der die charakteristischen Prinzipien des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Identifizieren von Notfallsituationen getestet worden sind. Die hier verwendete Anästhesieeinheit ist eine Datex Flexima mit halbgeschlossenem zirkulierendem Atmungskreis. Die Meßergebnisse wurde an zwei Meßpunkten 10 erhoben, von denen einer unter der Beatmungsfaltenbalg-Anordnung angeordnet ist und der andere in Verbindung mit der Intubationsröhre vorgesehen ist, der im Torax des Patienten angeordnet ist. Die Mustervektoren zur Schulung und Identifizierung enthielten Eigenschaften, die aus den Parametern Druck, Volumen, Flußrate, Kohlendioxidgehalt und Sauerstoffgehalt der dem Patienten zugeführten Gase errechnet wurden. Die zu identifizierende Notfallsituation umfaßt unterschiedliche Arten von Behinderungen des Atmungskreises und Leckagen und Abtrennung der Gasprobenleitungen.

Während der Sammlung von Beispielen, die mit Notfallsituationen verknüpft waren, wurde der Patient durch einen mechanischen Atmungssimulator 34 ersetzt, in den Stickstoff und Kohlendioxid eingeführt wurde, um den Sauerstoffverbrauch und die CO₂ Produktion zu simulieren. Die meisten der mittels des simulierten Testmaterials generierten Notfallsituationen wurden mit einer Exaktheit von mehr als 90% erkannt und dieses Resultat kann als ausreichend betrachtet

werden verglichen mit der Identifizierungs-Exaktheit der Expertensysteme und der Westenskow'schen Erfindung, die in der gleichen Größenordnung liegt.

Liste der Bezugszeichen der Figur

- 34 Mechanischer Atmungssimulator (MII Modell 1600)
- 35 Manschette des Intubationstubus
- 36 Intubationstubus
- 37 Einatmungsschlauch
- 38 Ausatmungsschlauch
- 39 Faltenbälge
- 40 Einatmungsventil
- 41 Ausatmungsventil
- 42 Gasmonitor (Datex Capnomac Ultima)
- 43 Gasmeßwandler (Dlite)
- 44 PC
- 45 CO₂ Absorbentank
- 46 Gasprobenleitung
- 47 Frischgaszufluß
- 48 Y-Adapter
- 49 Sockel des Ausatmungsventils.

Fig. 7 zeigt eine Karte, die in der Lage ist, die Ursache der Fehlfunktion (d. h. Ursache der Notfallsituation) zu identifizieren. Die Karte wurde während des oben beschriebenen Tests des Verfahrens erzeugt. Die unterschiedlichen Intensitäten der Graustufen zeigen unterschiedliche Notfallsituationen. Die mit den unterschiedlichen Notfallsituationen verknüpften Bereiche sind auf der Karte ebenfalls durch Bezugszeichen bezeichnet. Weil das Diagramm eine Grautondarstellung einer ursprünglich farbig kodierten Karte ist, kann die Grautondarstellung der den unterschiedlichen Notfallsituation zugehörigen Bereiche weniger zufriedenstellend sein, z. B. in den Bereichen, die die Behinderung des Intubationstubus und des Ausatmungsschlauches betreffen.

Liste der Bezugszeichen der Figur

- 50 Kartenbereich, der einer Normalsituation entspricht
- 51 Behinderung des Ausatmungsschlauches
- 52 Behinderung des Intubationstubus
- 53 Behinderungen des Gas-Meßwandlers (Dlite)
- 54 Leckagen des Ausatmungsschlauches, Y-Adapters oder des Sockels des Ausatmungsventils
- 55 Leckagen des Einatmungsschlauches
- 56 Ablösen der CO₂ Meßleitung
- 57 Ablösen der Druck-/Flußmenge-Meßleitung
- 58 Leckage der Ventilklappe im Einatmungsventil
- 59 Leckage der Ventilklappe im Ausatmungsventil
- 60 Bypass-Leckage der Manschette des Intubationstubus
- 61 Verstopfung oder Behinderung des Einatmungsschlauches.

Fig. 8 zeigt die Bewegung bzw. Wanderung der Gewinnerzelle durch die Region, die einer Verstopfung des Ausatmungsschlauches zugeordnet ist, in die Region 63, die einer Verstopfung des Intubationstubus entspricht und von dort weiter in den Normalsituationsbereich 62, wenn nur eine vorübergehende Verstopfung des Intubationstubus vorliegt.

Fig. 9 zeigt einen signifikanten Anstieg des Quantisierungsfehlers in der Notfallsituation-Identifizierungskarte, der auf einer Verstopfung oder Blockierung 63 des Intubationstubus beruht. Die numerischen Werte 65, die auf der y-Achse ausgedruckt sind, zeigen die Größe des

Quantisierungsfehlers.

Fig. 10 zeigt ein Verfahren, bei dem die Karte eine Leckage 66 im Einatmungsschlauch von einer Leckage 67 im Ausatmungsschlauch, y-Adapter oder im Sockel des Ausatmungsventils differenziert. Das Diagramm zeigt die Änderung des Minimalwertes des absoluten CO₂-Gehalts während des Atmungszyklus. Mit einem dunkleren Grauton auf dem Diagramm sind die Bereiche bezeichnet, deren Zellen mit einem Gewichtsvektor verknüpft sind, der die oben genannten Eigenschaftswerte über dem Normalwert hat und entsprechend durch einen helleren Grauton diejenigen Bereiche, deren Zellen mit einem Gewichtsvektor verknüpft sind, der die oben genannten Eigenschaftswerte unterhalb des Normalwertes hat. Je größer die Größe des in die Kartenzelle gezeichneten Quadrats ist, desto mehr weicht der Wert vom Normalwert ab.

Das Diagramm macht es leicht zu verstehen, daß es speziell der Wert der untersuchten Eigenschaft ist, die die oben diskutierte Notfallsituationen voneinander differenziert, wenn die Karte die Identifizierung der Notfallsituation durchführt. Aufgrund der Untersuchung der Gewichtsvektoren durch Komponenten in unterschiedlichen Bereichen der Karte und des Vergleichs der Werte dieser Komponenten mit den Notfallsituationen, die mit den entsprechenden Kartenzellen verknüpft sind, kann der Anwender leicht erkennen, auf welche Weise die Karte die Notfallsituationen identifiziert.

Fig. 11 zeigt die praktische Betriebsweise des Verfahrens bei der Identifizierung von Notfallsituationen, nachdem die Stufe 1 Karte 76 und die Stufe 2 Karte 77 mittels Trainingsmaterial geschult worden sind, das unter Verwendung eines Atmungssimulators oder Versuchstiere gesammelt worden ist. Zuerst wird die Stufe 1 Karte mit Hilfe absoluter Mustervektoren geschult, die mit normalen Situationen verknüpft sind. Diese Vektoren werden, wie oben bereits beschrieben, allein durch Verwendung der Meßergebnisse diskreter Zeitpunkte gebildet. Der für die Identifizierung von Notfallsituationen taugliche Kartensatz wird durch eine Karte zu einem Zeitpunkt geschult, der die Einstellung des Anästhesiesystems umfaßt, so daß die aus den Meßergebnissen errechneten absoluten Mustervektoren näher an dem Gewichtsvektor, der mit der Stufe 2 Karte assoziierten Stufe 1 Kartenzelle angeordnet ist als irgendein anderer Gewichtsvektor der Stufe 1 Karte. Hiernach werden die Beispiele, die mit jeder untersuchten Notfallsituation verknüpft sind, gesammelt, indem durch Vergleich der Meßwerte mit normalen Werten und darauffolgendem Schulen der Mustervektoren in der Karte Mustervektoren gebildet werden.

Die Schulung einer selbstorganisierenden Karte ist hinreichend in der Literatur beschrieben, weshalb sich eine nähere Untersuchung und Beschreibung dieses Verfahrensschritt erübrigt.

Die/der zur Identifizierung einer Notfallsituation fähige Karte bzw. Kartensatz wird geschult während tatsächlicher Anästhesieleistungen. Der Anwender hat die Option, die Karte zur Identifizierung von Notfallsituationen erneut zu schulen, wenn die Anästhesieeinheit z. B. in eine neue, völlig unterschiedliche Operationseinrichtung geändert oder verschoben wird. Der Anwender kann ebenfalls einen ausreichend eng fixierten Bereich für die bei der Schulung der Karte verwendeten Parameterwerte festlegen, wobei die Karte in kontinuierlich angepaßter Weise verwendet werden kann. Die breiten Möglichkeiten der Auswahl von Details und Möglichkeiten bei der Schulung der Notfallsituation-

Identifizierungskarte sind in der Figur durch das Bezugszeichen 68 "Auswahl der Schulungsparameter" bezeichnet.

Bezugszeichen 69 betrifft den Quantisierungsfehler der Notfall-Identifizierungskarte. Wenn der Quantisierungsfehler einen bestimmten, vom Anwender mit dem Bezugszeichen 71 definierten Wert übersteigt, gibt das Notfallsituation-Erkennungssystem ein Signal 70 aus. In diesem Moment werden die Werte der mit der Änderung verknüpften Eigenschaften 74, die zum Identifizieren der Notfallsituation erforderlich sind, mittels normaler Werte, die in einem Ringpufferspeicher 72 gespeichert sind und der zugehörigen Meßwerte bestimmt. Das Funktionsprinzip des Ringpufferspeichers 72 wird wie folgt beschrieben: 1) Wenn der Ringpufferspeicher nicht voll ist, wird der Mustervektor an dem ersten frei verfügbaren Speicherplatz gespeichert. 2) Wenn der Ringpufferspeicher voll wird, wird der älteste in dem Ringpufferspeicher gespeicherte Wert bei der Speicherung des neuen Werts umgespeichert. Vor der Speicherung in dem Ringpufferspeicher können die Meßergebnisse in der mit dem Bezugszeichen 73 versehenen Einheit gefiltert und skaliert bzw. bewertet werden. Das Skalieren beseitigt den Effekt der Nichtproportionalität, die durch die Veränderung und unterschiedliche Bereiche der Änderung der Meßergebnisse verursacht werden: Zum Beispiel können die Änderungen im Beatmungsvolumen während einer Notfallsituation Hunderte von Millilitern betragen, während z. B. gleichzeitig der Kohlendioxidgehalt lediglich um 1% ansteigen kann.

Es ist festzuhalten, daß ein Teil der Meßergebnisse Signale sein können, die sich auf die Einstellungen der Anästhesieeinheit beziehen. Weil diese Einstellungen der Anästhesieeinheit die Meßresultate verfälschen können, kann die oben beschriebene Anordnung verwendet werden, um den Anwender automatisch zu warnen, daß die Möglichkeit zur Beeinflussung der Meßresultate besteht, im Falle sich herausstellt, daß die in dem Ringpuffer gespeicherten Werte Meßergebnisse beinhalten, die Änderungen der Einstellungen der Anästhesieeinheit anzeigen.

Nachdem der absolute Mustervektor, der einem gegebenen Zeitpunkt entspricht und der absolute Mustervektor, der einer Normalsituation entspricht, von dem Ringpufferspeicher gelesen worden sind, wird die Notfallsituation-Identifizierungskarte der Stufe 2 gebildet, indem der Gewichtsvektor gefunden wird, der dem absoluten Mustervektor der Normalsituation in der Stufe 1 Karte am nächsten kommt. Daraufhin wird der Ort der Gewinnerzelle auf die Stufe 2 Karte gedruckt. Auch eine Bewegung der Gewinnerzelle kann auf die Karte gedruckt werden, z. B. in der Weise, wie es in Fig. 7 beschrieben ist.

Die in der vorliegenden Patentanmeldung beschriebene Erfindung betrifft daher die Verwendung der vorteilhaften Eigenschaften einer bekannten Methode, nämlich der selbstorganisierenden Karte in einer neuen Anwendung, in welcher das Verfahren niemals vorher benutzt worden ist. Die Erfindung kombiniert ebenfalls mehrere selbstorganisierende Karten in einer neuen Weise, durch die die Exaktheit der Identifizierung einer Notfallsituation bei Änderungen des Operationspunktes des Anästhesiesystems verbessert wird. Das Verfahren ist in der Lage, Notfallsituationen in jedem Anästhesiesystem zu identifizieren. Die einzige Vorbedingung für die Identifizierung ist die Verwendung derartiger Meßergebnisse und Eigenschaften, die aus diesen Er-

gebnissen errechnet werden, die prinzipiell für die Identifizierung von Notfallsituationen anwendbar sind. Die oben beschriebenen Beispiele des Notfallsituation-Identifizierungssystems für die Verwendung in einer Anästhesieeinheit sind lediglich beispielhaft und nicht begrenzend. Die Zeichnung darf nicht dahingehend verstanden werden, daß sie die Anwendung des beschriebenen Verfahrens für die Erkennung und Identifizierung von Notfallsituationen für andere Anästhesie-Fälle verbietet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen und Identifizieren von Notfallsituationen in einem Anästhesiesystem mit folgenden Verfahrensschritten:

- Messen mehrerer, mit der Anästhesie verknüpfter Variabler;
- Bilden von Mustervektoren aus den Meßwerten der Meßvariablen, welche Mustervektoren den augenblicklichen Status des Systems charakterisieren;
- Schulung des Systems vor einer aktuellen Meßsituation mit einem Referenzmaterial, welches Mustervektoren enthält, die tatsächlichen Situationen entsprechen, und
- Erkennen und möglicherweise Identifizieren der Notfallsituationen auf der Basis der gemessenen Mustervektoren und des geschulerten Materials,

dadurch gekennzeichnet, daß

- das System mit dem Referenzmaterial unter Verwendung selbstorganisierender Karten geschult wird, und
- die aus den Meßergebnissen gebildeten Mustervektoren mit Gewichtsvektoren (m_j) der selbstorganisierenden Karte verglichen werden, um die Notfallsituationen zu erkennen und zu identifizieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem System gleichzeitig sowohl das Vorliegen als auch die Ursache der Notfallsituation mittels mehrerer selbstorganisierender Karten (76, 77) identifiziert werden.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

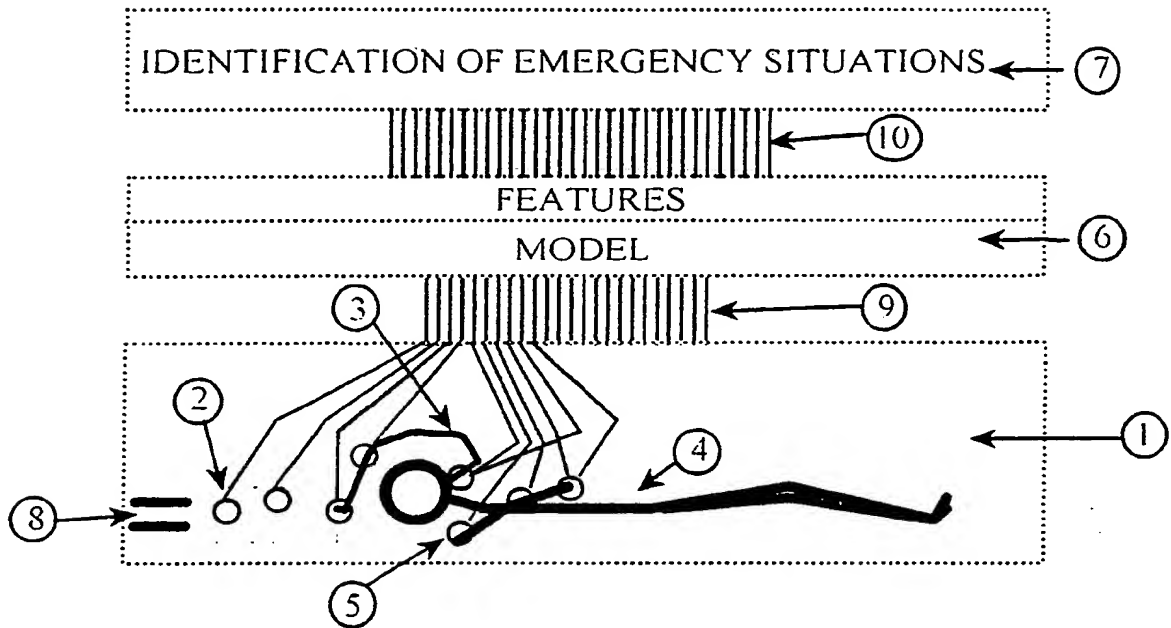


Fig. 1

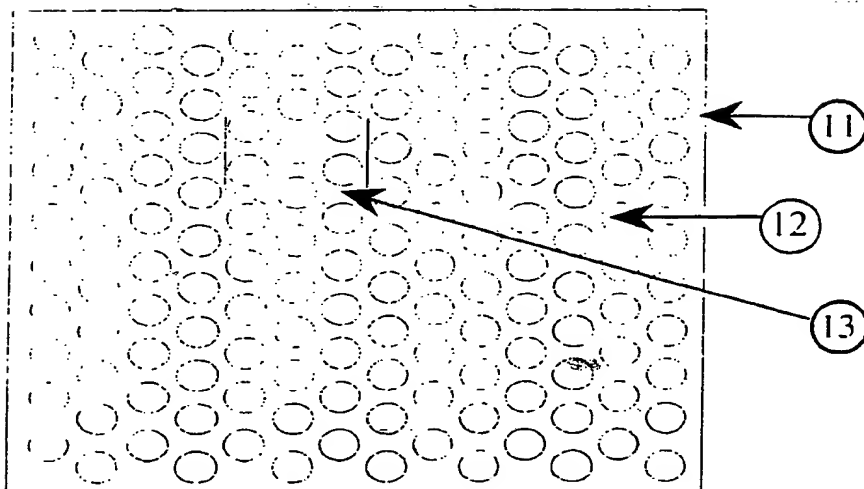


Fig. 2

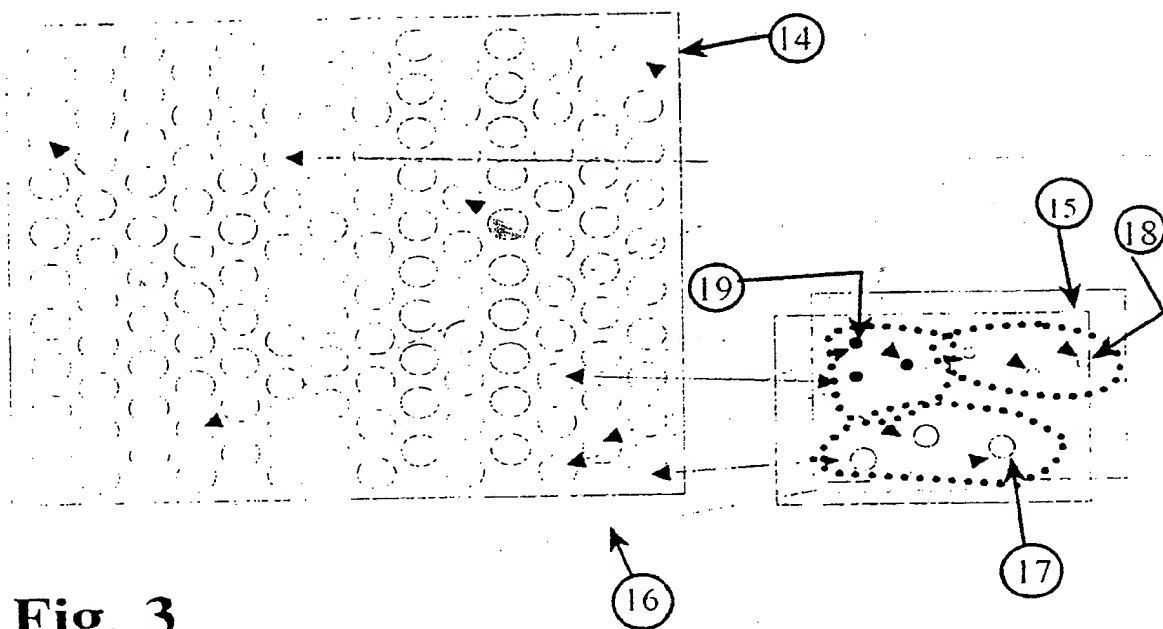


Fig. 3

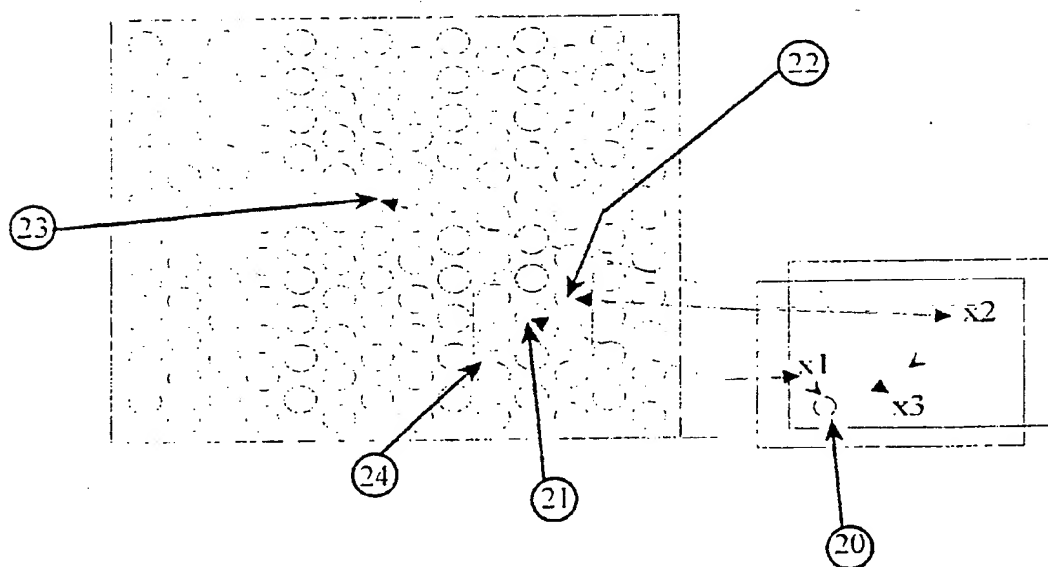


Fig. 4

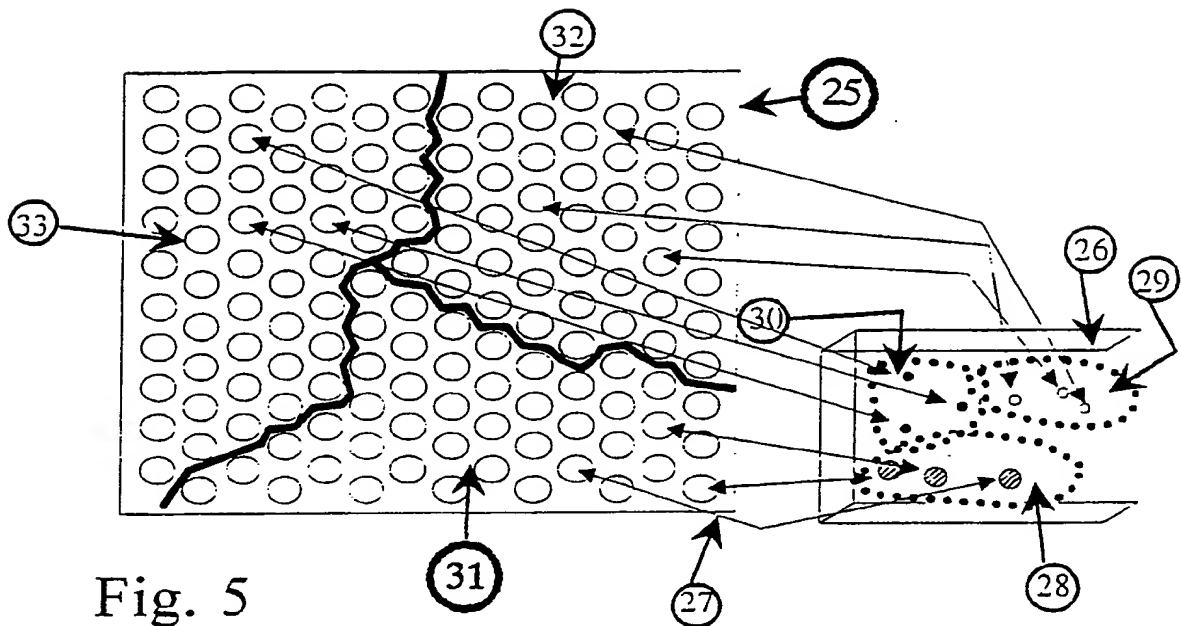


Fig. 5

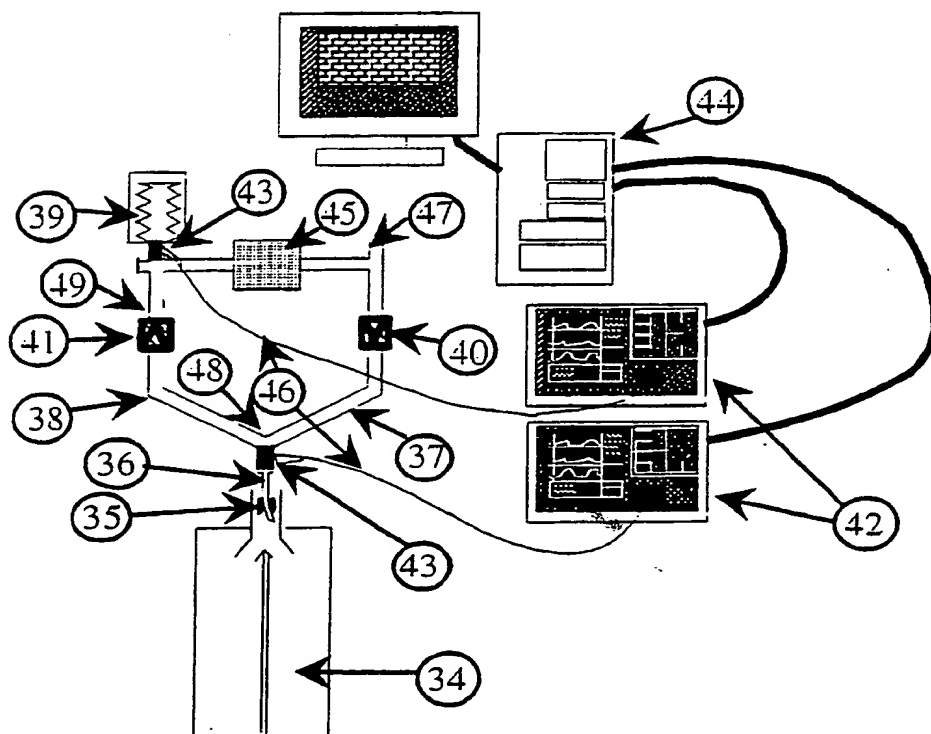


Fig. 6

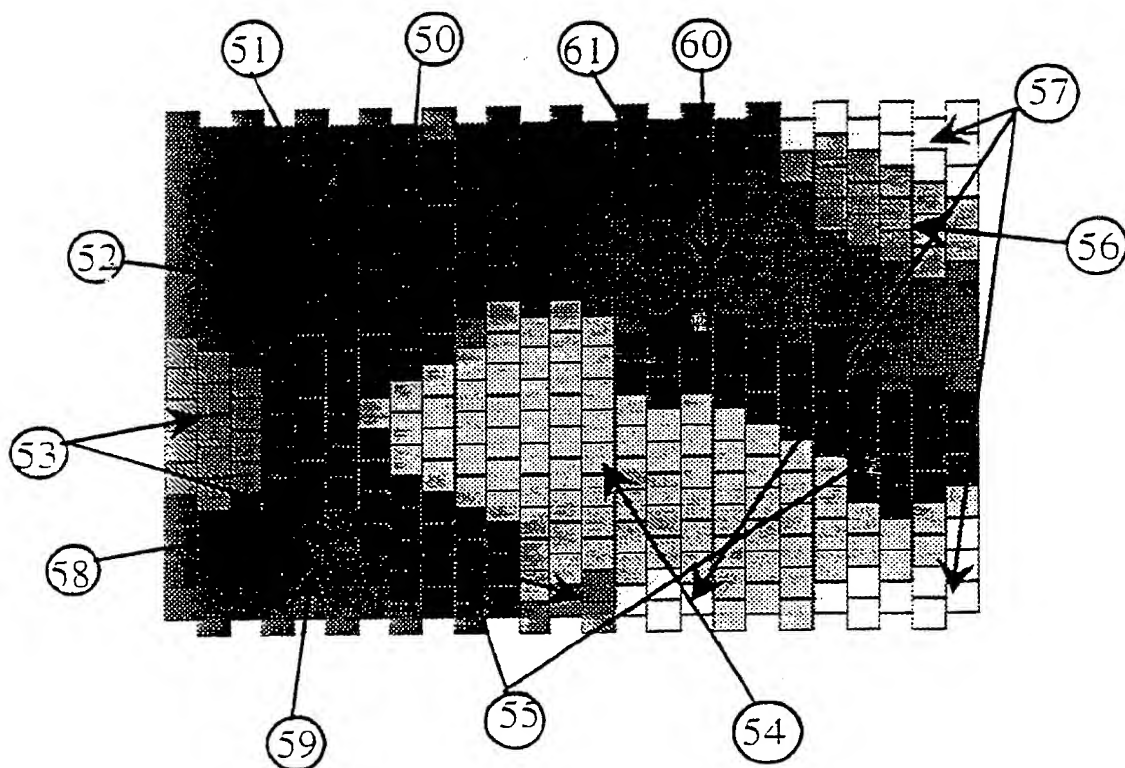


Fig. 7

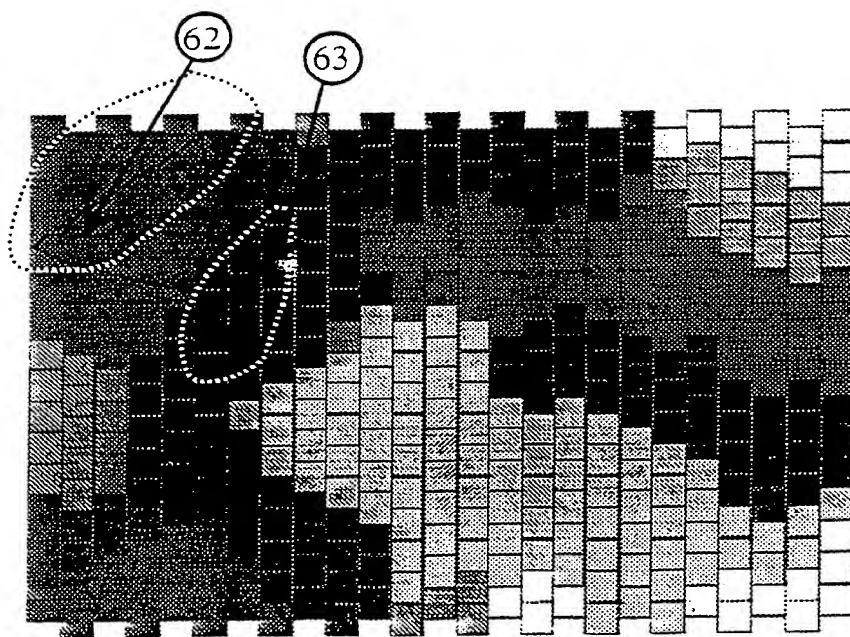


Fig. 8

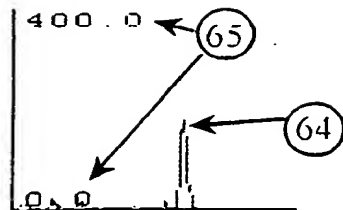


Fig. 9

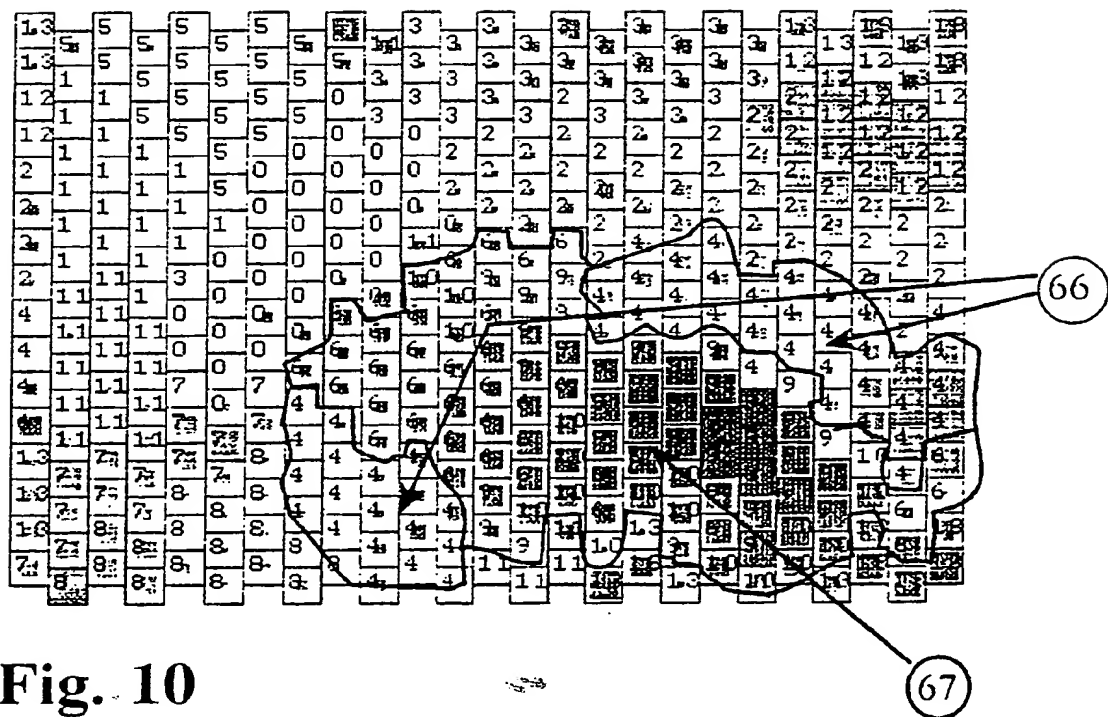


Fig. 10

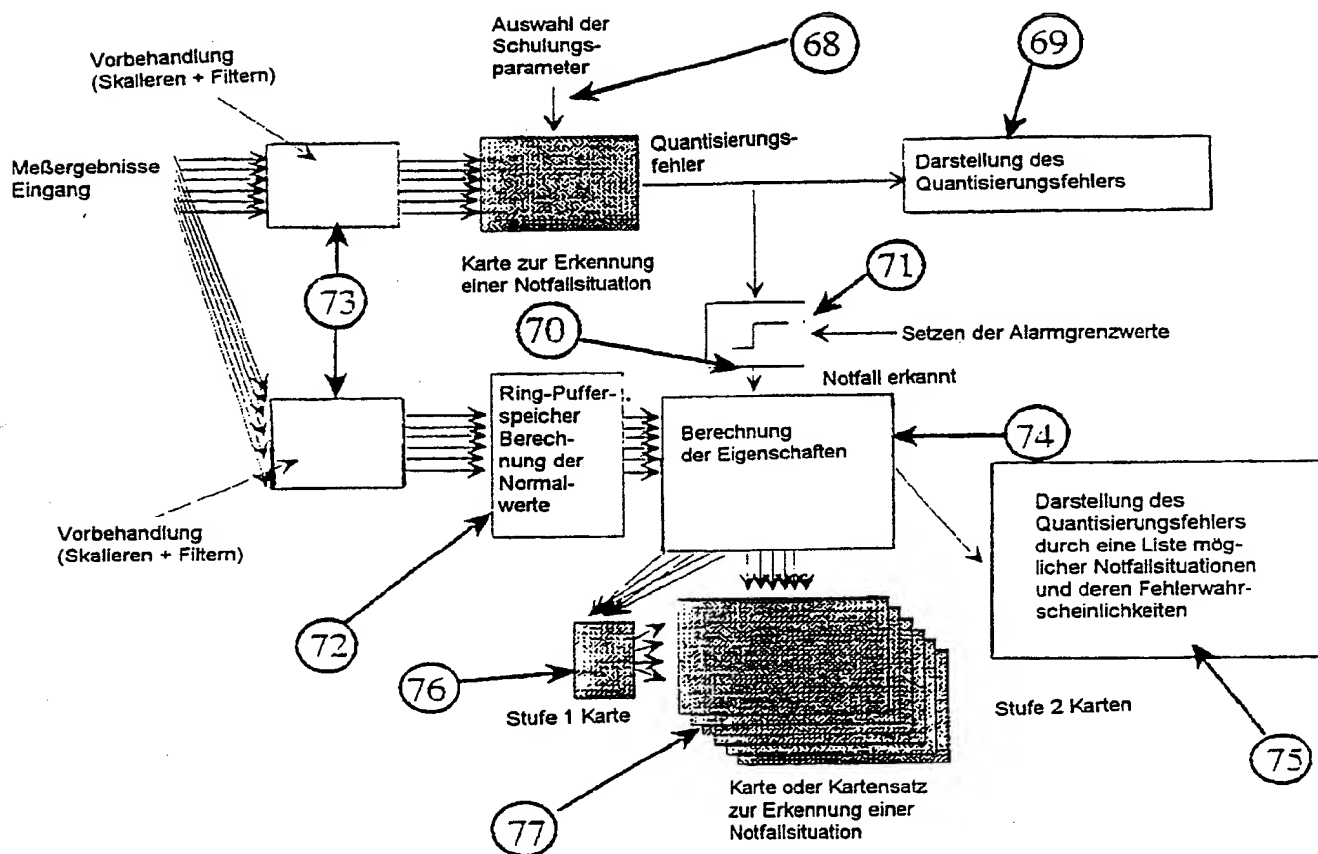


Fig. 11